干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2020.01.09

新疆及周边中亚地区中亚低涡背景下云中液态水分布研究①

梁　倩[1]，　光　莹[1]，　刘　琼[1]，　李建刚[2]，　陈勇航[1,2]，　杨莲梅[2]，
辛　渝[2]，　刘统强[1]，　黄　观[1]
（1　东华大学环境科学与工程学院，上海　201620；
2　中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆　乌鲁木齐　830002）

摘　要： 利用2003—2014年5～9月中亚低涡发生时的AIRS Version 6 Level 2卫星资料，分析中亚低涡活动规律以及云中液态水空间分布。结果表明：(1) 北涡型中亚低涡共发生97次，南涡型共88次。中亚低涡中心更易向南移动。(2) 整体来看，云中液态水呈现山区多盆地少的趋势，在帕米尔高原、天山和昆仑山脉的山区以及咸海附近均大于 100×10^{-6} kg·m^{-2}。在准噶尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地东部地区小于 1×10^{-6} kg·m^{-2}。(3) 中亚低涡发生路径越偏南，云中液态水柱越低。关于云中液态水柱，北涡路径较南涡路径更多。研究结果将为进一步认识中亚低涡强降水天气系统提供参考。

关 键 词： 中亚低涡；南涡；北涡；移动路径；月际变化；云中液态水

新疆作为"一带一路"地区，是我国同中亚国家连接的重要桥梁。新疆和中亚五国同属典型的干旱、半干旱气候[1]，水资源匮乏，地表植被稀少[2-3]。该地区夏半年降水相对集中，一旦出现突发强降水天气，易对水利系统造成威胁。引发新疆强降水的系统较多，塔什干低涡、巴湖低涡以及中亚低涡等都是主要影响系统。其中，中亚低涡是造成新疆及周边中亚地区强降水的主要系统。降水过程包括大气中水汽、冰相粒子间的相互转化[4-5]，云中液态水可与这些水分子相互作用，共同保持大气中的水分收支平衡[6-7]。

要对新疆地区中亚低涡背景下的云中液态水进行研究需要有大量的观测数据。而飞机机载仪器以及地基雷达和微波辐射计的测量范围有限[8-11]且成本较高。以地基为主的云水监测主要采用地基雷达[12-14]和微波辐射计[9-11]。有学者[15-18]利用地基微波辐射计观测的资料分别分析了中国不同地区不同天气条件下云中温度、湿度以及液态水、气态水含量等分布规律。由于地基雷达和微波辐射计在全球的观测站点少且分布不均匀，无法对大范围的云中液态水进行监测。特别是中亚及新疆地形复杂，多为无人区，使得定量研究其云水资源有很大困难。在这种情况下，相比于地基观测，卫星观测成为了获取云水资料最现实可行的科学手段[19]。有学者[20-24]分别选用MODIS/Aqua、CERES/Aqua卫星资料、Terra/MODIS卫星资料、FY3A/VIRR卫星资料等来对中国不同地区的云水资源特征进行分析。还有一些学者[25-27]采用CloudSat卫星搭载的云雷达，研究云团雷达反射率、冰相粒子和液态水等微物理量，分析了降水云团的宏观特征以及内部的垂直结构特征。但目前CloudSat探测范围有限，只能探测星下点的大气状况。而Aqua卫星红外高光谱仪器（AIRS）具有极高的光谱分辨率，这些精细的光谱通道能够探测到更加准确的更高垂直分辨率的大气各层温度和湿度信息[28]，故有学者选用AIRS卫星资料对水汽进行分析。如张雪芹等[29]利用AIRS

① **收稿日期：** 2019-04-24；　**修订日期：** 2019-08-30
基金项目： 科技部全球变化及应对专项（2017YFA0603500）；科技部公益性行业科研专项（GYHY201506009）；2015年新疆高层次人才引进工程；国家自然科学基金项目（41675026，41175026）；中国沙漠气象科学基金项目（Sqj2018001）
作者简介： 梁倩（1995-），女，山西省孝义市人，硕士研究生，研究方向为云水资源和数值模拟. E-mail：liangqian1995@126.com
通讯作者： 陈勇航. E-mail：yonghangchen@126.com

水汽数据,分析了中亚地区2003—2011年上对流层水汽的时空变化及其异常特征;刘瑞霞等[30]利用Aqua/AIRS的湿度廓线反演资料对中国上对流层水汽时空分布特征进行了分析。但针对新疆及周边中亚地区,特别是中亚低涡降水系统背景下,利用多年AIRS数据研究云中液态水、特别是中亚低涡降水系统下的分布规律尚罕见。

本文通过研究新疆及周边中亚地区中亚低涡降水系统活动规律和该系统下云中液态水分布规律,将为该地区强降水天气新的预警指标提供参考。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域

研究区域(35°~55°N,60°~97°E)根据中亚低涡系统移动路径设置,包括大部分中国新疆地区(新疆北纬35°N以南地区未包含)和部分周边中亚地区。中亚地区地形总体上呈现东南高、西北低。新疆地区北为阿尔泰山,南为昆仑山,天山横亘中部,把新疆分为南北两半,南部是塔里木盆地,北部是准噶尔盆地。

1.2 资料与方法

极地轨道卫星Aqua于2002年5月在美国成功发射,该卫星上搭载的AIRS是目前国际上第一个真正意义上的超高光谱分辨率红外大气垂直探测仪。大气红外探测仪有2 382个光谱通道,覆盖3.74~15.4 μm的光谱区间。在这2 382个光谱通道中,有4个可见光通道,2 378个红外通道。大气红外探测仪扫描幅宽1 650 km,空间水平分辨率2.3 km(可见光/近红外通道),13.5 km(红外通道)。AIRS能够提供更全面和更准确的反映陆地、海洋与大气状态与变化特征的红外多光谱高光谱数据。

在47.5°~55°N范围内活动的中亚低涡称为北涡,35°~47.5°N范围内活动的中亚低涡称为南涡。中亚低涡形成后,将每天低涡中心位置连线,得到移动路径。由于环流配置、中亚及新疆地区特殊的地理位置,不同移动路径造成的天气现象不同,云中液态水分布也有差异。为表达简洁,路径分类如下:'1'代表偏北路径,'2'代表偏西路径,'3'代表原地少动或打转。原地少动或打转路径类型的中亚低涡,是一类特殊的移动路径,极风锋区或副热带风区上的低槽切涡于中亚地区,常表现为孤立活动,中心原地少动或打转后逐渐减弱。'A'代表向东北方向移动,中亚低涡移动路径与纬圈夹角在东北方向大于45°。'B'代表向东移动,中亚低涡移动路径与纬度圈基本平行。'C'代表向东南方向移动,中亚低涡移动路径在东南方向与纬圈夹角呈45°左右。例如:'1A'即为偏北路径向东北移动。

云中液态水柱(Total cloud liquid water,以下简称云液态水柱含量)是从1 100 hPa到0.1 hPa气压场的云中液态水柱,单位是kg·m^{-2}。由于其数量级范围及大从10^{-9}~10^{5}之间,为绘图时方便表示图例中数值范围,将原始数据乘以10~6进行绘制。

以下将在以往学者研究的基础上[31-33],采用2003—2014年共12 a夏半年AIRS Version 6 Level 2卫星资料,对典型发生中亚低涡的个例,分析中亚低涡降水系统不同移动路径类型下云中液态水空间分布规律。在卫星资料读取处理过程中,首先对0.25°×0.25°网格点内的所有像素点上的数据求平均,然后再插值到每个格点上,根据格点绘制月均空间分布图。

2 结果分析

2.1 12 a内夏半年中亚低涡月际、不同路径发生频率统计

2003—2014年夏半年北涡共发生97次,南涡共88次。受北半球大气环流的影响,中亚低涡在夏季发生频次最高。分别从月际和不同路径发生频率研究中亚低涡夏半年发生频次变化趋势。

2.1.1 12 a内夏半年中亚低涡月际发生频率

12 a内夏半年中亚低涡不同月发生频率(图1),北涡发生频次高于南涡,且8月无南涡类型的中亚低

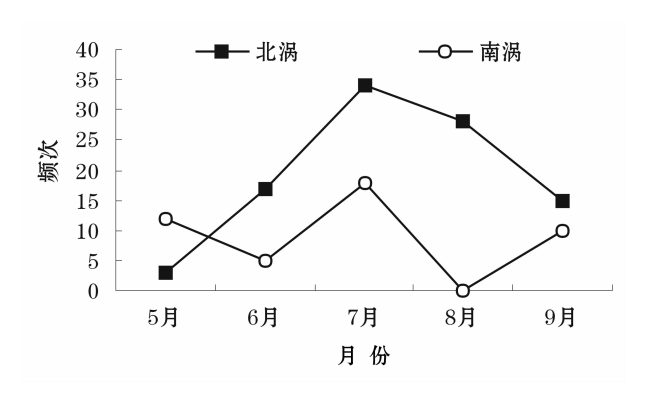


图1 12 a内中亚低涡不同月发生频率

Fig. 1 Monthly variation of the occurrence of the Central Asian vortexes

涡发生。北涡型中亚低涡月际变化呈单峰型；南涡型虽 7 月发生频次达到峰值，总体呈“W”走势。

2.1.2　12 a 内夏半年中亚低涡不同路径发生频率　总体来看（图 2），中亚低涡北涡易发生在偏北向东南路径（1C），占 39.2%；南涡易发生在偏西向东南路径（2C），占 62.5%。北涡发生频次均大于南涡；且向南移动的概率偏大。

2.2　不同路径类型云中液态水分布特征

2.2.1　北涡不同路径类型云中液态水分布特征

偏北路径的云水空间分布相似，含量接近（图 3a ~ 3c），整体呈现山区多盆地少的趋势：云液态水柱含量在帕米尔高原沿天山和昆仑山脉的山区、咸海附近均大于 100×10^{-6} kg · m^{-2}。云液态水柱含量在伊塞克湖地区大于 50×10^{-6} kg · m^{-2}。云液态水柱含量在准噶尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地东部地区小于 1×10^{-6} kg · m^{-2}。偏北向东北路径（1A）疆内均值在北涡各个路径中最小，仅为 26.93×10^{-6} kg · m^{-2}，偏北向东路径（1B）、偏北向东南路径（1C）分别为 107.53×10^{-6} kg · m^{-2}、36.97×10^{-6} kg · m^{-2}。

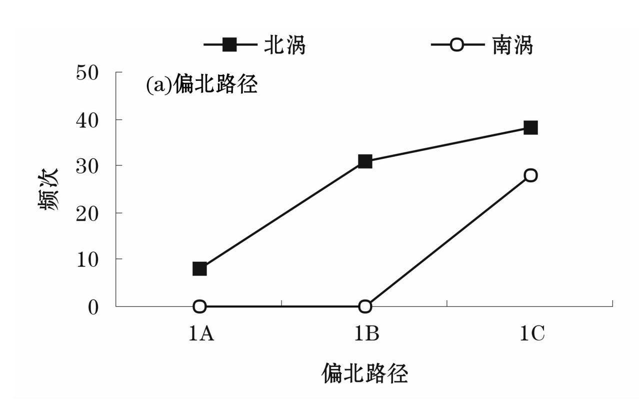
偏西路径云水空间分布（图 3d ~ 3e）与偏北路径的云液态水柱含量相似：山区多盆地少。云液态水柱含量大于 100×10^{-6} kg · m^{-2} 的地区包括帕米尔高原附近、沿天山和昆仑山脉的山区以及咸海附近。吉尔吉斯斯坦境内的伊塞克湖地区有小范围大于 50×10^{-6} kg · m^{-2} 的高值区分布。云液态水柱含量小于 1×10^{-6} kg · m^{-2} 低值区均主要分布于准噶尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地东部地区，均向东延伸至蒙古国南部和甘肃北部。相较偏北路径云液态水柱含量稍偏小。40°N 以南的昆仑山脉附近，仍是疆内云液态水柱含量主要分布的高值区地区：偏西向东北路径（2A）向东部延伸至青海省境内。疆内最大值分别为 $2\,977.31\times10^{-6}$ kg · m^{-2}、$111\,376.06\times10^{-6}$ kg · m^{-2}，均位于昆仑山区。此外，中天山南脉及其南麓和伊犁河谷地区的云液态水柱含量在偏西向东南路径（2C）大多在 5×10^{-6} ~ 25×10^{-6} kg · m^{-2} 之间，而偏西向东北路径（2A）多在 1×10^{-6} ~ 10×10^{-6} kg · m^{-2} 之间。疆内均值远小于偏西向东南路径（2C），分别为 39.76×10^{-6} kg · m^{-2}、492.28×10^{-6} kg · m^{-2}。

原地少动或打转型两个个例（图 3f ~ 3g）中云水分布规律有所不同。2005 年个例中疆内云液态水柱含量最大值高达 $108\,616.68\times10^{-6}$ kg · m^{-2}，疆内均值为 560.81×10^{-6} kg · m^{-2}；2012 年个例的云水集中在 80° E 以西地区。疆内最大值高达 $103\,579.48\times10^{-6}$ kg · m^{-2}。在东疆及两大盆地东部有大范围云液态水柱含量小于 0.1×10^{-6} kg · m^{-2} 的低值区，甚至东至蒙古国南部及甘肃省北部部分地区也有低值区。因此 2012 年个例疆内均值远小于 2005 年个例，为 83.72×10^{-6} kg · m^{-2}。

2.2.2　南涡不同路径类型云中液态水分布特征

偏北路径云水空间分布（图 4a）与北涡型偏北路径相似：云液态水柱含量全区最大值均出现在研究区域最西侧的咸海附近，吉尔吉斯斯坦境内的伊塞克湖地区均有大于 50×10^{-6} kg · m^{-2} 的高值区分布。50°N 以北地区，大致可看出在 5×10^{-6} ~ 25×10^{-6} kg · m^{-2} 三个范围内呈带状分布。82.5°E 以西的昆仑山脉是疆内云液态水柱含量主要大于 50×10^{-6} kg · m^{-2} 的高值地区。疆内小于 1×10^{-6} kg · m^{-2} 低值区均分布于准噶尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地东部地区。疆内均值为 47.37×10^{-6} kg · m^{-2}。

偏西路径系统云液态水柱含量（图4b ~ 4d）在



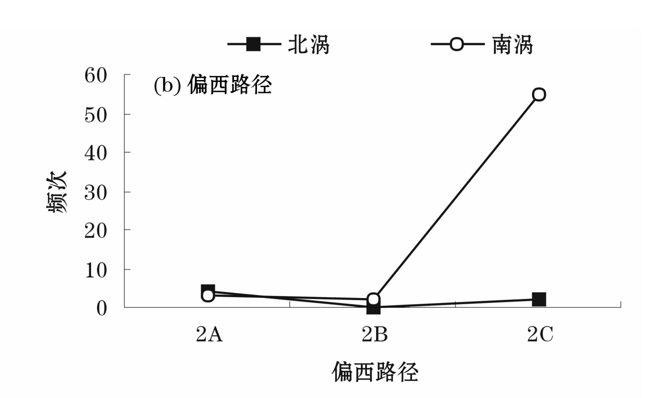


图 2　12 a 内中亚低涡不同路径发生频次折线图

Fig. 2　Frequency of different paths of the Central Asian vortexes

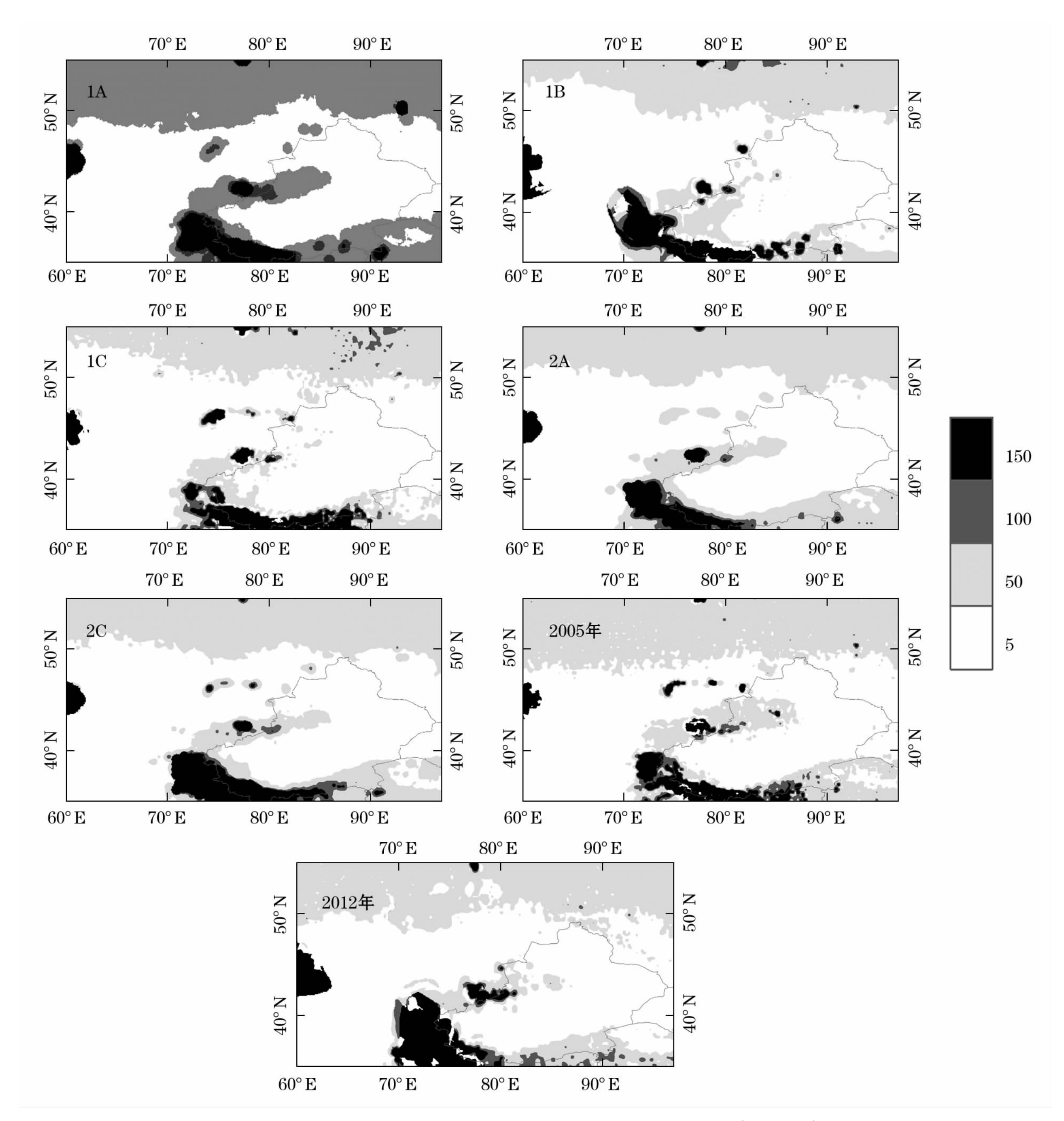


图 3　12 a 内北涡型云中液态水不同路径空间分布 / 10^{-6}kg·m^{-2}

Fig. 3　Spatial distribution of total cloud liquid water in the Central Asian vortexes of north / 10^{-6}kg·m^{-2}

所有路径类型中最小,但空间分布趋势大致相当。整体呈现山区多盆地少的趋势:云液态水柱含量大于 100×10^{-6} kg·m^{-2}高值区帕米尔高原附近,沿天山和昆仑山脉的山区、咸海附近。吉尔吉斯斯坦境内的伊塞克湖地区有小范围大于 50×10^{-6} kg·m^{-2}的高值区分布。云液态水柱含量小于 1×10^{-6} kg·m^{-2}低值区均主要分布于准噶尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地地区。偏西向东北路径(2A)发生时,仅在昆仑山区有少量大于 50×10^{-6} kg·m^{-2}的高值区。疆内云液态水柱含量最大值为 263.38×10^{-6} kg·m^{-2},位于红旗拉普达坂附近,疆内均值仅为 3.22×10^{-6} kg·m^{-2},最大值和均值均为所有路径中最小。偏西向东路径(2B)的疆内云液态水柱含量最大值为 582.38×10^{-6} kg·m^{-2},疆内均值为 4.03×10^{-6} kg·m^{-2}。偏西向东南路径(2C)在北部中俄交界的阿尔泰山区有较明显的大于 100×10^{-6} kg·m^{-2}高值区,疆内最大值为 $54\ 744.64\times10^{-6}$ kg·m^{-2},疆内均值为 38.16×10^{-6} kg·m^{-2}。

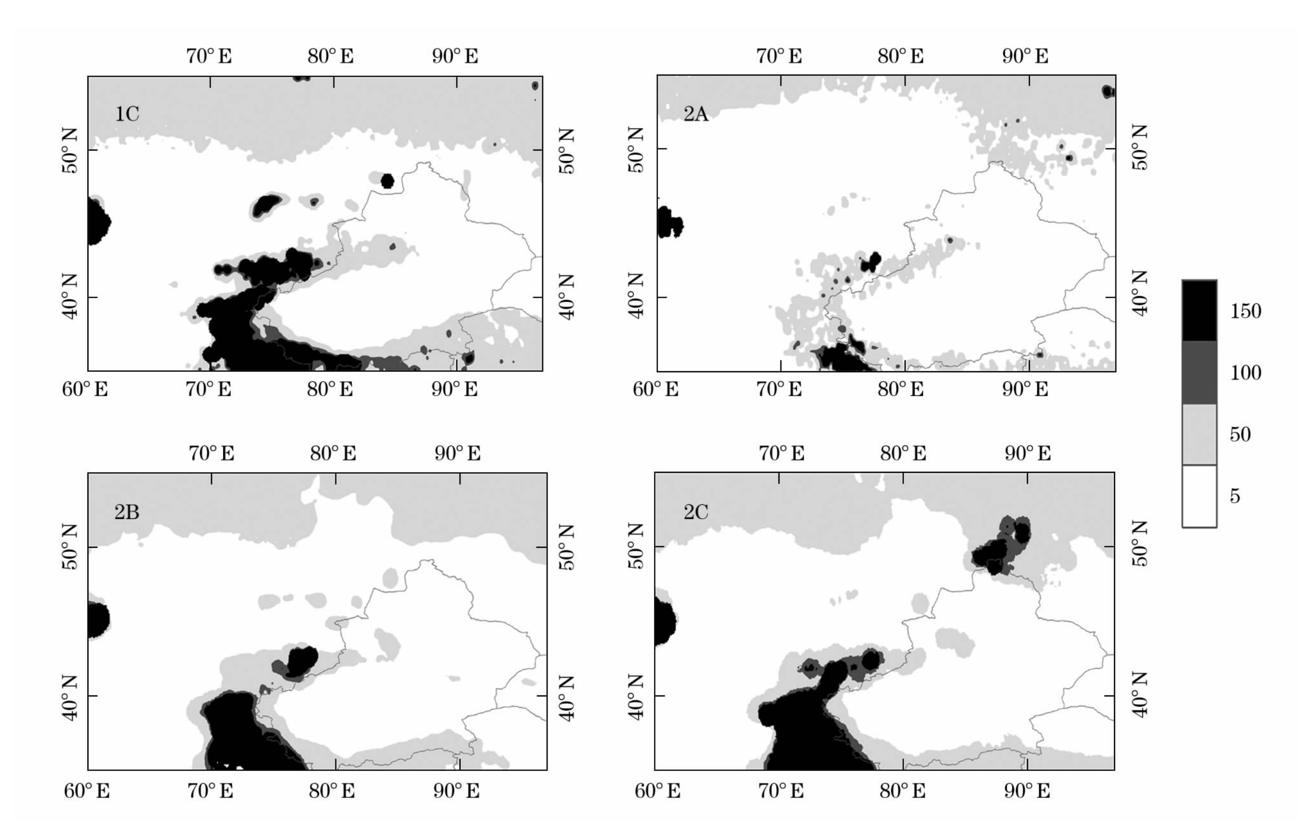


图 4 12 年内南涡型云中液态水不同路径空间分布 / 10^{-6}kg · m^{-2}

Fig. 4 Spatial distribution of total cloud liquid water in the Central Asian vortexes of south / 10^{-6}kg · m^{-2}

3 结 论

(1) 2003—2014 年夏半年北涡型中亚低涡共发生 97 次,南涡共发生 88 次。北涡型中亚低涡月发生频次呈单峰型,5 月发生频次最低,在 7 月发生频次达到峰值。南涡型中亚低涡月发生频次规律不明显。北涡类型比南涡类型发生频繁可能与夏季副热带西风急流位于 42.5°N、极锋锋区偏南有关[29]。

(2) 2003—2014 年夏半年北涡发生频率高于南涡;且中亚低涡中心易向南移动。偏北的北涡型中亚低涡中心向东南方向移动的占北涡型的 39.2%;偏西南涡和偏北南涡更易向东南方向移动,且分别占南涡型的 62.5% 和 31.8%。这是由于夏季两脊—槽的环流配置,导致中高纬地区乌拉尔脊不断发展和新疆东部脊或贝加尔湖脊的维持,从而使深厚的中亚冷低涡易向东、东南方向移动[1]。

(3) 整体来看,中亚低涡各路径云液态水柱含量呈现山区多盆地少的趋势:云液态水柱含量在帕米尔高原、天山和昆仑山脉的山区以及咸海附近均大于 100×10^{-6} kg · m^{-2}。云液态水柱含量在吉尔吉斯斯坦境内的伊塞克湖地区大于 50×10^{-6} kg · m^{-2}。云液态水柱含量在准格尔盆地、哈密盆地和塔里木盆地东部地区小于 1×10^{-6} kg · m^{-2}。

参考文献(References)

[1] 杨莲梅,张云惠,秦贺. 中亚低涡研究若干进展及问题[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(5):1-8. [YANG Lianmei, ZHANG Yunhui, QIN He. Some progress and problems in the study of Central Asian vortex[J]. Desert and Oasis Meteorology,2015,9(5):1-8.]

[2] 李立. 新疆夏季降水的水汽特征[J]. 新疆气象,1994,(3):16-20. [LI Li. Water vapor characteristics of summer precipitation in Xinjiang[J]. Xinjiang Meteorology,1994,(3):16-20.]

[3] 吴永萍,王澄海,沈永平. 1948—2009 年塔里木盆地空中水汽输送时空分布特征[J]. 冰川冻土,2010,32(6):1074-1083. [WU Yongping, WANG Chenghai, SHEN Yongping. Spatial and temporal distribution characteristics of air water vapor transport in Tarim Basin from 1948 to 2009[J]. Frozen Glaciers, 2010, 32(6):1074-1083.]

[4] PALTRIDGE G W, PALTRIDGE G W. Cloud-radiation feedback to climate[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2010,106(450):895-899.

[5] STEPHENS G L, GREENWALD T J. The Earth's radiation budget and its relation to atmospheric hydrology: 2. Observations of cloud effects[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1991, 96(D8):15325-15340.

[6] 王沛斌. 云中液态水含量在人工影响天气中的运用[J]. 科技传播,2015,(16):508,602. [WANG Peibin. Application of liquid water content in clouds in weather modification[J]. Science and

Technology Communication,2015,(16):508,602.]

[7] 王慧娟.云中液态水的探测研究[D].南京:南京信息工程大学,2008.[WANG Huijuan. Detection of liquid water in cloud [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Engineering, 2008.]

[8] ROSENKRANZ P W,BARATH F T,BLINN J C,et al. Microwave radiometric measurements of atmospheric temperature and water from an aircraft[J]. Journal of Geophysical Research, 1972, 77(30):5833－5844.

[9] DECKER M T,DUTTON E J. Radiometric observations of liquid water in thunderstorm cells[J]. Journal of the Atmospheric Sciences,2010,27(5):785－790.

[10] SNIDER J B. Ground-based sensing of temperature profiles from angular and multispectral microwave emission measurements[J]. Journal of Applied Meteorology,2010,11(6):958－967.

[11] 黄润恒,邹寿祥.两波段微波辐射计遥感云天大气的可降水和液态水[J].大气科学,1987,11(4):397－403.[HUANG Runheng,ZOU Shouxiang. Remote sensing of precipitable water and liquid water in cloud atmosphere by two band microwave radiometer[J]. Atmospheric Science,1987,11(4):397－403.]

[12] 张京英,陈金敏,刘英杰,等.大暴雨过程中短时强降水机制分析[J].气象科学,2010,30(3):407－413.[ZHANG Jingying, CHEN Jinmin,LIU Yingjie,et al. Mechanism analysis of short-term heavy rainfall in heavy rain[J]. Meteorological Science,2010,30(3):407－413.]

[13] 齐琳琳,赵思雄.一次热带低压引发上海特大暴雨过程的中尺度系统分析[J].大气科学,2004,28(2):254－268.[QI Linlin,ZHAO Sixiong. Mesoscale system analysis of a torrential rain caused by tropical depression in Shanghai[J]. Atmospheric Science,2004,28(2):254－268.]

[14] 张腾飞,鲁亚斌,张杰,等.一次低纬高原地区大到暴雪天气过程的诊断分析[J].高原气象,2006,25(4):696－703.[ZHANG Tengfei,LU Yabin,ZHANG Jie,et al. A diagnostic analysis of heavy to snowstorm weather process in low latitude plateau [J]. Plateau Meteorology,2006,25(4):696－703.]

[15] 段英,吴志会.利用地基遥感方法监测大气中汽态、液态水含量分布特征的分析[J].应用气象学报,1999,10(1):34－40.[DUAN Ying,WU Zhihui. Analysis of the distribution characteristics of vapor and liquid water content in the atmosphere by using ground-based remote sensing method [J]. Journal of Applied Meteorology,1999,10(1):34－40.]

[16] 黄彦彬,德力格尔,王振会.利用地基双通道微波辐射计遥感青藏高原大气云水特征[J].大气科学学报,2001,24(3):391－397.[HUANG Yanbin,DE Liger,WANG Zhenhui. Remote sensing of cloud and water characteristics over the Qinghai Tibet Plateau using a ground-based dual channel microwave radiometer [J]. Journal of Atmospheric Science,2001,24(3):391－397.]

[17] 李铁林,刘金华,刘艳华,等.利用双频微波辐射计测空中水汽和云液水含量的个例分析[J].气象,2007,33(12):62－68.[LI Tielin, LIU Jinhua, LIU Yanhua, et al. A case study on the measurement of water vapor and cloud liquid water content in the air by dual frequency microwave radiometer [J]. Meteorology, 2007,33(12):62－68.]

[18] 孙旭映,李耀辉,邓祖琴.一次层状云降水过程云中液态水含量的演变特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):81－86.[SUN Xuying,LI Yaohui,DENG zuqin. Evolution characteristics of liquid water content in clouds during a stratiform cloud precipitation process[J]. Resources and Environment in Arid Areas,2013,27(10):81－86.]

[19] 张家宝,邓子风.新疆降水概论[M].北京:气象出版社,1987.[ZHANG Jiabao, DENG Zifeng. Introduction to precipitation in Xinjiang[M]. Beijing:China Meteorological Press,1987.]

[20] 李梦,金宏春,陈勇航,等.天山低层云水资源中冰粒子物理属性年际变化[J].自然资源学报,2015,30(4):696－704.[LI Meng,JIN Hongchun,CHEN Yonghang,et al. Interannual change of physical properties of ice particles in the low-level cloud water resources of Tianshan Mountains [J]. Journal of Natural Resources,2015,30(4):696－704.]

[21] 刘健.利用卫星数据分析青藏高原云微物理特性[J].高原气象,2013,32(1):38－45.[LIU Jian. Cloud microphysical characteristics of the Qinghai Tibet Plateau using satellite data[J]. Plateau Meteorology,2013,32(1):38－45.]

[22] 王洪强,陈勇航,彭宽军,等.基于 Aqua 卫星总云量资料分析山区云水资源[J].自然资源学报,2011,26(1):89－96.[WANG Hongqiang, CHEN Yonghang, PENG kuanjun, et al. Analysis of cloud water resources in mountainous areas based on total cloud data of Aqua satellite [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(1):89－96.]

[23] 周晓丽,胡列群,马丽云,等.基于 FY3A 资料的天山山区暴雨云相态分析[J].干旱区地理,2014,37(4):667－675.[ZHOU Xiaoli,HU liequn,MA Liyun,et al. Phase state analysis of rainstorm cloud in Tianshan Mountain area based on FY3A data[J]. Arid Land Geography,2014,37(4):667－675.]

[24] 常倬林,崔洋,张武,等.基于 CERES 的宁夏空中云水资源特征及其增雨潜力研究[J].干旱区地理,2015,38(6):1112－1120.[CHANG Zhelin,CUI Yang,ZHANG Wu,et al. Study on the characteristics of cloud water resources in Ningxia and its rainfall increasing potential based on CERES[J]. Arid Land Geography,2015,38(6):1112－1120.]

[25] 李静,肖子牛,刘奇俊,等.基于 MODIS 和 Cloudsat 云产品分析降水云系特征[J].科技信息,2009,(11):42－43.[LI Jing, XIAO Ziniu,LIU Qijun,et al. Analysis of precipitation cloud system characteristics based on MODIS and CloudSat cloud products [J]. Science and Technology Information,2009,(11):42－43.]

[26] 李浩,邓军英,刘岩,等.一次暴雨过程云中液态水微物理属性垂直分布[J].干旱区研究,2015,32(1):161－167.[LI Hao, DENG Junying,LIU Yan,et al. Vertical distribution of microphysical properties of liquid water in cloud during a rainstorm[J]. Arid Zone Research,2015,32(1):161－167.]

[27] 杨冰韵,张华,彭杰,等.利用 CloudSat 卫星资料分析云微物理和光学性质的分布特征[J].高原气象,2014,33(4):1105－1118.[YANG Bingyun, ZHANG Hua, PENG Jie, et al. Using CloudSat satellite data to analyze the distribution characteristics of cloud microphysical and optical properties[J]. Plateau Meteorology,2014,33(4):1105－1118.]

[28] AUMANN H H,CHAHINE M T,GAUTIER C,et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: Design, science objective, data products,and processing systems[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing,2003,41(2):253－264.

[29] 张雪芹,李敏姣,孙通.大气红外探测器(AIRS)资料揭示的中亚地区上对流层水汽时空变化特征[J].干旱区研究,2013,30(6):951－957.[ZHANG Xueqin,LI Minjiao,SUN Tong. Tempo-

ral and spatial variation characteristics of water vapor in the upper troposphere in Central Asia revealed by air data[J]. Arid Zone Research,2013,30(6):951 - 957.]

[30] 刘瑞霞,刘杰,刘月丽. AIRS 反演中国区域上对流层水汽分布特征研究[J]. 气候变化研究进展,2016,12(1):1 - 9. [LIU Ruixia,LIU Jie,LIU Yueli. Retrieval of water vapor distribution in the troposphere over China by airs [J]. Progress in Climate Change Research,2016,12(1):1 - 9.]

[31] 陈勇航,邓军英,张萍,等. 中天山附近强降雨过程中云冰水含量随高度变化特征[J]. 资源科学,2013,35(3):655 - 664. [CHEN Yonghang,Deng Junying,ZHANG Ping,et al. Characteristics of cloud ice water content with height during heavy rainfall near Zhongtian Mountain[J]. Resource Science,2013,35(3):655 - 664.]

[32] 陈勇航,彭宽军,史玉光. 天山山区与塔克拉玛干沙漠云水资源的对比分析[J]. 干旱区地理,2009,32(6):886 - 891. [CHEN Yonghang,PENG kuanjun,SHI Yuguang. Comparative analysis of cloud water resources between Tianshan Mountain Area and Taklimakan Desert[J]. Arid Land Geography,2009,32(6):886 - 891.]

[33] 彭宽军,陈勇航,王文彩. 新疆山区低层云水资源时空分布特征[J]. 水科学进展,2010,21(5):653 - 659. [PENG Kuanjun,CHEN Yonghang,WANG Wencai. Temporal and spatial distribution characteristics of low-level cloud water resources in Xinjiang [J]. Progress in Water Science,2010,21(5):653 - 659.]

[34] 丁贤荣. 高山增水效应及其水资源意义[J]. 山地学报,2003,21(6):681 - 685. [Ding Xianrong. The effect of increasing water supply in high mountains and its significance of water resources [J]. Journal of Mountains,2003,21(6):681 - 685.]

[35] 张云惠,杨莲梅,肖开提,等. 1971—2010 年中亚低涡活动特征[J]. 应用气象学报,2012,23(3):312 - 321. [ZHANG Yunhui,YANG Lianmei,XIAO Kaiti,et al. Characteristics of Central Asian vortex activity in 1971—2010[J]. Journal of Applied Meteorology,2012,23(3):312 - 321.]

Distribution of total cloud liquid water in Xinjiang and its surrounding Central Asia under the background of low vortex in Central Asia

LIANG Qian[1], GUANG Ying[1], LIU Qiong[1], LI Jian-gang[2], CHEN Yong-hang[1,2], YANG Lian-mei[2], XIN Yu[2], LIU Tong-qiang[1], HUANG Guan[1]

(1 *College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai* 201620, *China*;
2 *China Meteorological Administration, Institute of Desert Meteorology, Urumqi* 830002, *Xinjiang, China*)

Abstract: Xinjiang, China and surrounding Central Asia region belong to the same typical arid and semi-arid climate. Water resources are scarce and surface vegetation is scarce. Once a sudden heavy precipitation occurs, it is easy to threaten the water conservancy system. The central Asian vortex is the main system that causes heavy precipitation in Xinjiang and the surrounding Central Asian region. The precipitation process includes the transformation of water vapor and ice particles in the atmosphere. The liquid water in clouds can interact with these water molecules to maintain the balance of water budget in the atmosphere. In order to study the liquid water in clouds under the background of the central Asian vortexes in Xinjiang, observation data are needed. Based on the AIRS Version 6 Level 2 satellite data from May to September in 2003 and 2014, the activity of the central Asian Vortex and the spatial distribution of liquid water in clouds are analyzed. In the process of satellite data acquisition and processing, the data of all pixels in 0.25 × 0.25 grid points are averaged first, then interpolated to each grid point, and the monthly average spatial distribution map is drawn according to the grid points. The results show as follows: (1) The Northern Vortex Type of the central Asian vortexes occurred 97 times. The Southern Vortex Type of the central Asian vortexes occurred 88 times. The activity center of the central Asian vortexes is more likely to move southward. The monthly frequency of the North Vortex in summer and half a year shows a single peak type. The monthly frequency of the North Vortex in summer and during half a year shows a "W" shape. (2) Overall, the liquid water in clouds tends to be more in the mountainous areas and less in the basin areas. It is more than 100×10^{-6} kg · m^{-2} in the mountainous areas along the Tianshan and Kunlun Mountains and in the vicinity of the Aral Sea in the Pamir Plateau. In Junggar Basin, Hami Basin and the eastern Tarim Basin, it is less than 1×10^{-6} kg · m^{-2}. This is because the Himalayas and Kunlun Mountains prevent water vapor from entering Xinjiang from the Indian Ocean. (3) The more southward the occurrence path of the central Asian vortexes was, the lower the liquid water content in the cloud was. The cloud liquid water content in the North vortex path is higher than that in the South vortex path. The above research could provide a new early warning index for heavy rainfall in this area.

Key words: the Central Asian vortexes; south vortex; north vortex; movement path; monthly variation; total cloud liquid water